

文章编号: 0258-7025(2008)04-0615-05

# 激光电视的消干涉

康玉思 刘伟奇 冯睿 张健

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘要** 由于背景干涉条纹的影响,在激光视频显示系统中,通常获得的激光视频图像不仅对比度降低,而且像质较差。通过采用多像素扫描法,成功地突破了投影显示方式的技术瓶颈,消除了这种显示方式产生的干涉条纹,使激光显示与传统显示方式相比在像质上有了很大的提高。通过对激光显示过程中激光形成干涉机制的深入分析和研究,提出了“多像素扫描法”,并设计了相关装置。该方法既可以用来实现投影显示,又可用来消除激光干涉。多像素扫描法既克服了扫描式激光显示的技术缺陷又解决了投影式存在的激光干涉条纹问题,获得了很好的显示效果。实践表明,该方法为激光显示研究提供了一种切实可行的方法。

**关键词** 激光技术;激光显示;扫描成像;面阵空间光调制器;二维扫描转镜;积分器阵列

**中图分类号** TN 949.15;O 436.1 **文献标识码** A

## Offset Interference of Laser TV

Kang Yusi Liu Weiqi Feng Rui Zhang Jian

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China)

**Abstract** In the laser video display system, video image with low contrast and inferior image quality are usually happened due to the effects of the background interference fringes. Aiming at eliminating such kind of interference fringes, multi-pixel scanning method is proposed in the laser TV, which breaks the technical bottleneck of scanning method. What is more, compared with traditional display, a great improvement can be fulfilled in image quality. Through deep analysis and research on the mechanism of laser interference in the process of laser display, a multi-pixel scanning method is presented in this paper, and relevant device has also been designed. This method can be used to achieve offset interference as well as projecting display. It can be seen that excellent display effect can be obtained by this method and technical deflection in scanning laser display can be overcome as well as laser interference fringes in projecting style. It is demonstrated that this method has referenced and practical evaluation for offering an effective method in the research of laser TV.

**Key words** laser technique; laser display; scanning image; spatial light modulator; two-dimensional scanning tilting mirror; integrator array

## 1 引言

激光视频显示可以采用两种方式,一种是激光束扫描成像方式(简称扫描式),另一种是采用面阵空间光调制器的投影方式(简称投影式)。通常国外报道的激光电视均是“扫描式”。扫描式结构复杂,技术难度大,成本高,寿命短,难以大批量生产。扫描式的两大技术难点是“光束扫描”和“光强调制”。

目前激光束扫描主要是机械转镜扫描和声光调制器扫描。机械转镜扫描要求转镜转速每分钟至少 3 万转以上(普通分辨率),如此高的转速,需要空气轴承、精密的动平衡调整,转镜的“塔差”、“镜面间的角度差”也要精确控制,同时还要求转镜转角与光强调制信号严格同步,否则就不能正常显示图像。转镜还要有较好的防尘措施,否则由于转速极高,空气中

收稿日期:2007-08-07;收到修改稿日期:2007-10-29

基金项目:国家 863 计划(2002AA311130)资助项目。

作者简介:康玉思(1977—),男,吉林人,博士研究生,主要从事光学设计方面工作。E-mail:kyshdl@163.com

导师简介:刘伟奇(1958—),男,吉林人,研究员,博士生导师,主要从事激光彩色视频显示技术、颜色光学、虚拟成像等技术的研究。E-mail:liuwq@ciomp.ac.cn

的灰尘会将镜面打毛。声光调制器控制光束扫描,其扫描角很小,体积较大,造价很高,很不实用。光强调制需要带宽约100 MHz的声光调制器,但声光调制器的量化级次少,制造难度大,成本高。因此,尽管扫描式激光显示样机在国外已经问世很多年,但至今也未能产业化。为克服扫描式的种种困难,本文提出了采用面阵空间光调制器结合多像素并行扫描的新方法,避开了“扫描式”中两大技术瓶颈。

## 2 激光显示系统

采用投影方式虽避开了扫描方式的技术瓶颈,但同时在显示图像中出现了干涉条纹,这是投影式激光显示面临的技术难点。激光是一种干涉性极好的光源,通常利用这一特点来做干涉实验。然而,在显示应用中,激光的干涉则是一大弊病,这表现在所显示的图像中出现杂乱的背景干涉条纹<sup>[1]</sup>。如何消除这种干涉,是实现投影式激光显示必须解决的问题。通过对激光显示过程中形成激光干涉机制的分析和深入研究,根据激光的时间相干性和空间相干性提出并设计了相应的消除激光干涉的方法和装置,即“多像素扫描法”,该方法既可消除激光干涉,又能实现投影显示,目前已经成功地用于激光视频显示系统中,消除了背景干涉条纹的影响,使激光视频图像更加完美。系统光路和激光电视光路俯视图如图1,图2所示。图中元件1是变倾角二维扫描转镜,2是积分器场镜组,3是积分器投影镜组,4是成像镜,5是空间光调制器,6是X合成棱镜,7是投影镜头。

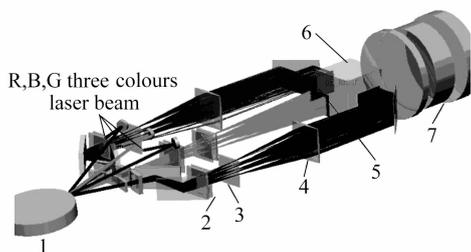


图1 激光显示系统光路图

Fig. 1 Ray path 1 of laser TV

## 3 激光显示系统消干涉工作原理

红绿蓝(R,G,B)三色激光束分别由反射镜投射到图2中的二维转镜1上,经过转镜旋转扫描,形成水平和垂直两个方向的二维扫描亮光斑。扫描光束经过积分器组2和3并由积分器采样匀光,再通过成像物镜4在空间光调制器上形成均匀光照面

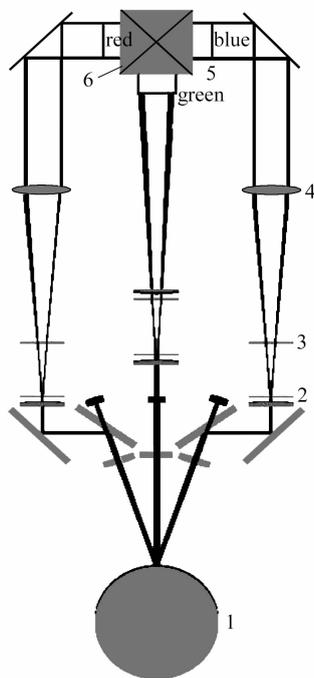


图2 激光电视光路俯视图

Fig. 2 Ray path map of laser TV

(光照面的大小与空间光调制器大小相匹配)。由于激光束的横截面是一个具有一定大小的高斯分布光斑,当激光束沿水平方向扫描时,扫描线(光斑)透过积分器场镜组被积分器的子单元所采样,再经过成像镜4严格地重叠在空间光调制器上。这种将不均匀光场分布经过分割成若干相对均匀的子光场,再将这些子光场叠加在一起,就实现了从不均匀到均匀的转化。这是典型的蝇眼透镜阵列工作原理<sup>[2]</sup>。由于二维转镜1的每个反射面在垂直方向上都依次倾斜一定角度,这使得空间光调制器上垂直方向的长条状光斑在入射角度上依次改变,因此即便在同一位置,由于每一瞬间的光照角度和激光的光程不同,导致不会形成固定的相位差,也就不能形成干涉条纹。水平方向的扫描配合积分器,使快速变化的光斑对人眼产生积分的平均效果,形成了一个亮度均匀的画面<sup>[3]</sup>。

采用“面阵空间光调制器”对激光束进行选通和光强调制,使覆盖多像素的激光束在高速扫过面阵空间光调制器时,其光强按视频图像的强弱得到调制,形成了红、绿、蓝3个单色激光视频图像。这3个单色图像经过X合成棱镜6,合成为彩色图像,并通过投影镜头7投射到屏幕上,形成激光彩色视频图像。图2为激光显示系统的光路走向。图3和图4是空间光调制器上的光斑水平扫描情形。 $x$ 方向是液晶显示器(LCD)屏幕宽度方向, $y$ 方向是屏幕

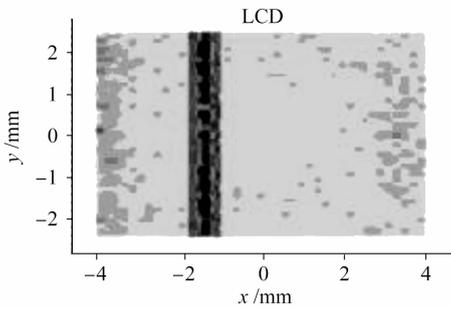


图 3 光斑从左向右移动

Fig. 3 Blur move from left to right on LCD

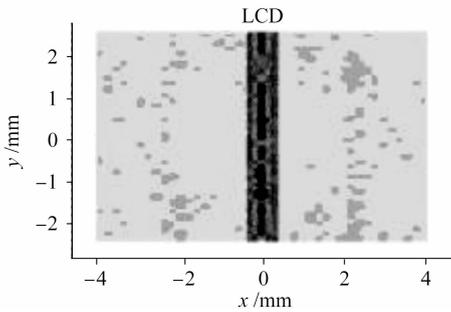


图 4 光斑水平移动到中心位置

Fig. 4 Blur has moved to the center

高度方向。

#### 4 单转镜二维激光扫描系统

在激光显示系统中,其核心部件是二维光扫描器。扫描器负责水平和垂直二维扫描,目的是在空间光调制器上形成一个无干涉的二维扫描亮面(传统的二维扫描是由行扫描转镜和场扫描阵镜两部分组成)。要实现视频显示,行扫描需要几万转的高速扫描转镜,精度要求高,除水平和垂直的扫描机构要严格同步外,还要保证视频信号与扫描机构的严格匹配。传统双镜扫描方式如图 5 所示,元件 1,2,3 分别是红、绿、蓝三色激光束。4,5,6,7,8,9 反射镜是将此三色激光束合成一束光投射到行扫描转镜 11 上,再经过场扫描转镜 12,之后这束激光就形成了二维场扫描。之后再经过投影镜头 13 成像到屏幕 14 上,就形成了人眼积分效果的图像,这原理非常类似于电视技术中的电子枪工作原理。扫描转镜的转速每分钟至少 3 万转以上(普通分辨率),并且要求转速均匀、空气轴承、精密的动平衡调整、转镜的“塔差”、“镜面间的角度差”也需精确控制。此外,转镜还要有较好的防尘措施,否则由于转速极高,空气中的灰尘会将镜面打毛。鉴于此,研制了变倾角单镜二维扫描器(图 6),实现了用单个转镜完成行、场二维扫描,省去了场扫描阵镜,使系统简化,提高

了系统稳定性和可靠性。该扫描镜是将每一个彼此相邻的反射镜面依次倾斜一定角度,在半周时倾斜角度向相反方向改变,倾斜角的大小取决于转镜到积分器场镜距离和扫描光斑在积分器场镜组投影位置。当一个反射面扫描一行后,由于下一个反射面相对于前一个扫描面下倾一个角度,则该反射面扫描下一行,依此类推,当转镜旋转一周时便往复扫描了 2 次空间光调制器。

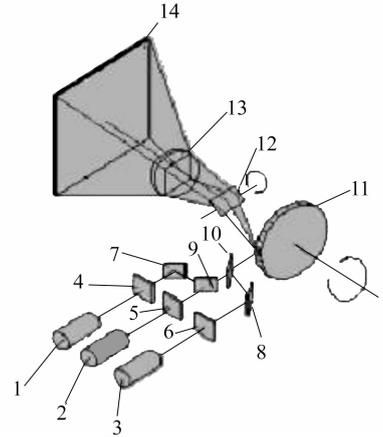


图 5 传统二维扫描方式

Fig. 5 Conventional two-dimensional scanning



图 6 新型二维扫描转镜

Fig. 6 Noval two-dimensional scanner

#### 5 光学匀光及消干涉

光学匀光是通过积分器组 2,3 把高斯分布的激光束分割采样,再经过成像镜 4 严格地叠加到空间光调制器上,这样高斯分布的辐射场转化为均匀分布的辐射场。转镜上不同倾角的小反射镜以不同倾角将光斑投射到积分器 2 和 3 上,当转镜连续旋转时,在空间光调制器上会形成垂直方向的细长光斑,而且在此方向上是均匀分布的。不同倾角的小镜面会产生不同的光程,从而破坏了激光的干涉条件,导致每次水平向场扫描产生的干涉纹与前次扫描产生

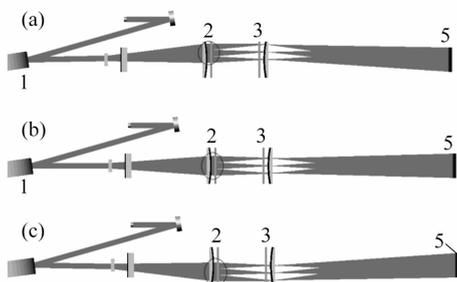


图7 转镜上的小镜面不同倾角下的光路图。(a)当转镜倾角 $8.5^\circ$ 时,光斑落在积分器组2,3的上部;(b)当转镜倾角 $8^\circ$ 时,光斑落在积分器组2,3的中间;(c)当转镜倾角 $7.5^\circ$ 时,光斑落在积分器组2,3的下部

Fig.7 Laser ray under various obliquities of little flat. (a) optics blur incidences into the top of arrays 2 and 3 when the flat slope is  $8.5^\circ$ ; (b) optics blur incidences into the middle of arrays 2 and 3 when the flat slope is  $8.0^\circ$ ; (c) optics blur incidences into the lower of arrays 2 and 3 when the flat slope is  $7.5^\circ$

的干涉纹不同,产生无规叠加效果,扰乱了固定相位关系的干涉条件。因此,转镜与积分器配合共同起到消干涉和匀光的作用<sup>[4]</sup>。图7为其光路图。

带有 $60^\circ$ 倾斜的小平面反射镜的回转体转镜旋转半圈,从小反射镜反射回的光束角度的变化从 $+0.5^\circ$ 到 $-0.5^\circ$ ,中间细分为 $1'$ 的行扫角度。在转镜的下半圈内,积分器上的光斑在由下向上的移动,步长也是 $1'$ 。如此转镜旋转一圈,则场扫描2 frame,转镜转速为50 r/s,则场帧速度达到 $50 \times 60 = 3000$  frame/s,远大于人眼反应下限25 frame/s,这种转镜确在低速下就能达到高速帧的效果,图3和图4是空间光调制器上的光斑水平扫描情形的示意图。

## 6 消除转镜加工误差对匀场积分效果的措施

传统二维扫描方式对转镜精度提出了苛刻的要求,若转镜有偏差则在图像上就会失真。本匀光系统原理上就消除了转镜误差带来的消极影响,这个关键技术便是上文所述的积分光路。积分器光路特点是把场景组的各个光学通道的像严格地叠加到成像镜的焦面上。对扫描转镜来说,当转镜的小平面倾角存在加工误差时,其反射的光斑落在场镜位置发生偏差,偏差效果如图8所示。小平面的倾角间隔名义值为 $1'$ ,按加工极限误差 $\pm 0.1'$ 计算,高斯分布的光斑投影到积分器场镜组,产生的位移如图8(b)

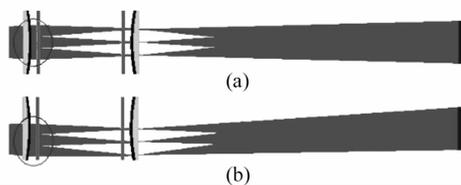


图8 光斑由于小平面的倾角加工误差而产生位移的效果。(a)小平面的倾角为 $8^\circ$ ; (b)小平面的存在公差 $0.1'$ 而产生的光斑在积分器场镜组的投影位移

Fig.8 Laser blur move from up to down on spatial light modulator with little flat obliquity tolerance. (a) flat mirror slopes just at  $8.0^\circ$  with no error of the slope; (b) laser blur moves downwards with an error of the slope  $+1'$

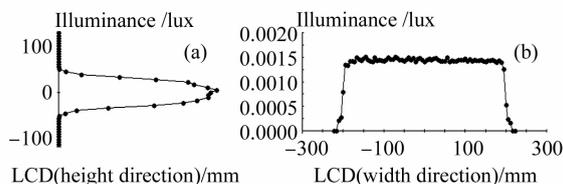


图9 小镜面倾角为 $8^\circ$ 。(a)沿水平方向 $x$ 的光照分布;(b)沿垂直方向 $y$ 的光照分布

Fig.9 Little flat obliquity of  $8^\circ$  result the luminance on spatial light modulator. (a) luminance on  $x$  axis; (b) luminance on  $y$  axis

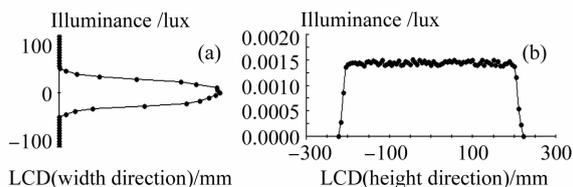


图10 小镜面倾角为 $8^\circ + 0.1'$ 。(a)沿水平方向 $x$ 的光照分布;(b)沿垂直方向 $y$ 的分布

Fig.10 Little flat obliquity of  $8^\circ + 0.1'$  result the luminance on spatial light modulator. (a) luminance on  $x$  axis; (b) luminance on  $y$  axis 所示。

当小平面的倾角为 $8^\circ$ 时,高斯分布的光斑落在积分器场镜的中心部位,在液晶显示器上沿水平方向 $x$ 和垂直方向 $y$ 的光照轮廓如图9所示。计算得出在液晶显示器高度范围内 $y$ 向数据的不均匀程度优于2%,人眼将完全觉察不出全屏幕的亮度不均匀性。

当转镜存在加工误差时,如小平面的倾角极限为 $8^\circ + 0.1'$ ,则在液晶显示器的照度分布如图10所示。采样数据表明,液晶显示器的 $y$ 向的光照分布均匀度仍然控制在优于2%。

经过严格计算,在全视场内,小平面的在 $8^\circ \pm 0.5'$

范围内, 极限偏差为 $0.1'$ , 液晶显示器的  $y$  向光照均匀度均优于 $2\%$ 。人眼将完全感觉不出整个屏幕亮度的明暗变化, 这个特点为转镜的加工带来方便, 公差不再像直接扫描式激光电视的转镜那么严格, 为商品化的激光电视解决了技术难题。这归功于积分器的光学原理, 即场镜的光照度被小光学通道采样, 然后精确地叠加到成像镜的像面上<sup>[5,6]</sup>。

## 7 研制成果

研制的前投式激光显示原理样机是将激光彩色



图 11 前投式样机

Fig. 11 Front projection laser TV sample



图 12 背投式激光电视样机

Fig. 12 Back projection laser TV sample

视频图像投射到白幕上, 如图 11 所示, 适合于影院等场所。而图 12 所示的背投式实用化样机更适合家庭使用, 由于屏幕为“黑屏”, 在开灯或白天不遮窗帘的情况下仍可获得很好的图像效果。

## 8 结 论

实用化风冷式激光彩色投影电视样机兼容了标准视频信号、计算机信号、数字高清信号等各种信号标准, 并兼有色域扩展。通过采用面阵空间光调制器与多像素扫描投影相结合实现激光投影显示。研制的变倾角单镜二维扫描器, 实现了用单个转镜完成行、场二维扫描, 省去了场扫描阵镜, 使系统简化, 提高了系统稳定性和可靠性。提出并设计的激光消干涉方法及装置, 解决了激光图像中的干涉干扰, 使激光视频图像更加完美。

### 参 考 文 献

- 1 Liang Quanting. Physics Optics [M]. Zhejiang: Zhejiang University Press, 1988. 326~338  
梁泉铤. 物理光学[M]. 浙江: 浙江大学出版社, 1988. 326~338
- 2 Zhao Xing, Fang Zhiliang, Cui Jicheng *et al.*. Study on the optical engine of the mini-projector [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(5):913~918  
赵 星, 方志良, 崔继承 等. 微型投影机光学引擎的研究[J]. 光学学报, 2007, **27**(5):913~918
- 3 Ding Yi, Gu Peifu. Freeform reflector for uniform illumination [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(3):540~544  
丁 毅, 顾培夫. 实现均匀照明的自由曲面反射器[J]. 光学学报, 2007, **27**(3):540~544
- 4 M. Laikin. Lens Design [M]. 3rd edn.. New York: Marcel Dekker, 2001. 305~318
- 5 W. J. Smith. Modern Lens Design [M]. 2nd edn.. Washington: SPIE Press, 2005. 551~580
- 6 Yuan Xucang. Optical Design [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1988. 97~103  
袁旭沧. 光学设计[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1988. 97~103